

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**М.С. Фролова**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор Т.В. Истомина*

**Ключевые слова и фразы:** информационная модель; лечебно-профилактическое учреждение; медицинское оборудование; многокритериальная оптимизация; принцип Парето.

**Аннотация:** Предложена постановка и решение задачи выбора оптимальной модели медицинского оборудования на основе принципа Парето, информационных моделей медицинского оборудования и технического задания на медицинское оборудование.

Основами законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан определено, что государство в соответствии с Конституцией Российской Федерации и иными законодательными актами, а также с общепризнанными принципами и нормами международного права и международными договорами Российской Федерации гарантирует охрану здоровья каждого человека [4].

Состояние здоровья населения является важным условием социально-экономического прогресса и зависит от множества факторов, среди которых особое место принадлежит здравоохранению. Данная отрасль призвана обеспечить сохранение и улучшение здоровья нации путем оказания высококвалифицированной лечебно-профилактической помощи. Особая значимость здравоохранения заключается в том, что наряду с чисто социальными задачами отрасль решает и экономические, связанные с повышением качества жизни человека, темпов роста экономики, способствует формированию трудового потенциала общества. Оказание полноценной медицинской помощи населению области не может быть решено без комплексного оснащения лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) медицинским оборудованием (МО) [7].

Выявлены основные проблемы, сдерживающие решение обеспечения ЛПУ современным МО. К основным проблемам относится бессистемность

---

Фролова Мария Сергеевна – аспирант кафедры «Биомедицинская техника», e-mail: mashenciya@yandex.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

и стихийность в оснащении ЛПУ, несогласованное взаимодействие врачей и чиновников при закупках оборудования, непроработанность логистических процедур процессов поставок медицинского оборудования в ЛПУ.

Для решения задач модернизации и технического перевооружения ЛПУ необходимо создавать научные основы комплексного подхода к оснащению ЛПУ МО, рассмотреть этот процесс с позиции системного анализа.

Одной из основных логистических операций при оснащении ЛПУ является разработка технического задания на МО [1, 8]. Разработка технического задания – ответственная логистическая операция, так как здесь определяются основные характеристики МО. Медицинское оборудование является чрезвычайно дорогостоящим, и ошибки при выборе могут привести к значительным тратам. Как правило, при составлении технического задания заказчик (работники ЛПУ) уже ориентируется на конкретную модель МО. Поэтому важным этапом составления технического задания является предварительный выбор модели МО.

Предлагается разработать процедуру предварительного выбора модели МО. Для этого разрабатываем обобщенную информационную модель определенного вида МО.

Информационная модель – совокупность описаний какой-либо системы (объекта), отражающая наиболее существенные (в данном контексте рассмотрения) закономерности ее структуры и процесса функционирования, зафиксированная на некотором языке или в другой форме. Модель может быть представлена текстом, аналитическими выражениями, таблицами, диаграммами и т.д. [9].

Предлагается строить информационную модель МО на основе теории множеств.

Информационную модель МО будем представлять в виде множества [5]

$$MO_k = \{L_k, A_k, B_k, c_k\}, \quad (1)$$

где  $L_k, A_k, B_k$  – множества параметров  $MO_k$ , принимающих логические, вещественные и интервальные значения соответственно;  $c_k$  – параметр  $MO_k$ , определяющий его стоимость (цена МО).

Все параметры модели МО можно классифицировать на 4 группы.

1-я группа: параметры, принимающие логические значения. Например, для логической переменной: «Область применения УЗИ: кардиология» имеются два значения: «*true*» – если эта функция присутствует в аппарате; «*false*» – если эта функция отсутствует.

2-я группа: параметры, принимающие вещественные значения. Например, вещественный параметр: «Число приемно-передающих каналов УЗИ» может принимать значение 1024.

3-я группа: параметры, которым соответствуют интервальные числа. Например, параметр «Диапазон частот УЗИ» принимает интервальное значение [1,5; 18] МГц.

4-я группа представлена одним параметром, который характеризует стоимость  $k$ -й модели МО.

Представим множество  $L_k$  в виде

$$L_k = \{l_1^k, \dots, l_i^k, \dots, l_n^k\}, \quad (2)$$

где  $l_i^k$  – имя  $i$ -го параметра, принимающего логическое значение  $k$ -й модели МО.

Множество  $A_k$  представляется в виде последовательности кортежей

$$A_k = \{\langle a_1^k, x_1^k \rangle, \dots, \langle a_i^k, x_i^k \rangle, \dots, \langle a_m^k, x_m^k \rangle\}, \quad (3)$$

где  $\langle a_i^k, x_i^k \rangle$  – кортеж, в котором  $a_i^k$  – логическая переменная соответствует  $k$ -й модели МО;  $a_i^k$  – принимает значение «*true*», если этот параметр присутствует в  $k$ -й модели МО, «*false*» – если этот параметр отсутствует. При  $a_i^k = \text{«false»}$ ,  $x_i^k$  принимает значение, соответствующее численному значению  $i$ -го параметра  $k$ -й модели МО, но 2-й группы (множество  $A_k$ ). При  $a_i^k = \text{«false»}$ ,  $x_i^k = 0$ .

Множество  $B_k$  представляет последовательность кортежей

$$B_k = \{\langle b_1^k, [y]_1^k \rangle, \dots, \langle b_i^k, [y]_i^k \rangle, \dots, \langle b_f^k, [y]_f^k \rangle\}, \quad (4)$$

где  $\langle b_i^k, [y]_i^k \rangle$  – кортеж, в котором  $b_i^k$  – логическая переменная, соответствующая имени  $i$ -го параметра  $k$ -й модели МО и принимает значения аналогично переменной  $a_i^k$ . Интервальная переменная  $[y]_i^k$  характеризуется двумя значениями:  $\underline{y}_i^k$  и  $\overline{y}_i^k$  – вещественными значениями нижней и верхней границ параметра  $[y]_i^k$  соответственно.

Таким образом, сформулировав множество (1) путем присвоения переменным модели конкретных значений, получим информационную модель определенного вида МО.

Для того чтобы построить обобщенную информационную модель нужно определить состав множества (1). Для определения состава множества (1) необходимо глубоко изучить конкретные виды МО.

При оснащении ЛПУ самым ответственным этапом является закупка дорогостоящего диагностического оборудования, где стоимость одной единицы МО может превышать 4 млн рублей.

Составление технического задания на МО – длительный, трудоемкий процесс, требующий высокой квалификации лица, выполняющего эту работу. Предлагается построить единый шаблон на техническое задание определенного типа МО. Это облегчит составление технического задания на МО заказчикам из ЛПУ в процессе закупок.

Для составления шаблона технического задания воспользуемся информационными моделями на МО.

Фактически обобщенная информационная модель МО будет являться основой построения информационной модели технического задания, которая, в свою очередь, станет основой единого шаблона на определенный вид МО.

Информационную модель технического задания определенного вида МО будем представлять в виде множества [2]

$$T = \{L^T, A^T, B^T\}, \quad (5)$$

где  $L^T, A^T, B^T$  – множества параметров технического задания, принимающих логические, вещественные и интервальные значения соответственно. Следует учесть, что существует полное соответствие между множествами  $k$ -й модели МО и техническим заданием. То есть множество  $L_k$  соответствует  $L^T, A_k - A^T, B_k - B^T$ , для всех  $k = \overline{1, K}$ , где  $K$  – количество существующих моделей выбранного типа МО. Соответствие выражается согласно параметров  $k$ -й модели МО и технического задания.

Множество  $L^T$  представляется в виде последовательности кортежей

$$L^T = \{\langle l_1^T, \lambda_1 \rangle, \dots, \langle l_i^T, \lambda_i \rangle, \dots, \langle l_n^T, \lambda_n \rangle\}, \quad (6)$$

где  $l_i^T$  – имя  $i$ -го параметра (логическая переменная), принимающего логическое значение;  $l_i^T = \langle \text{true} \rangle$ , если заказчик желает наличие этой функции в МО;  $l_i^T = \langle \text{false} \rangle$ , если заказчик не желает наличие этой функции в МО;  $\lambda_i$  – вещественный коэффициент, характеризующий степень желательности присутствия этой функции в МО.

Условимся степень важности определять по пятибалльной шкале;  $\lambda_i$  может принимать значения  $\lambda_i = 0, 1, \dots, 5$ :  $\lambda_i = 0$  – наличие  $i$ -й функции безразлично для заказчика;  $\lambda_i = 1$  – малая значимость  $i$ -й функции;  $\lambda_i = 5$  – большая значимость  $i$ -й функции.

В дальнейшем для решения задачи многокритериальной оптимизации следует расширить число возможных значений  $\lambda_i$ . Так при строгом условии присутствия  $i$ -го свойства в техническом задании  $\lambda_i$  должно принимать очень большое отрицательное число, например  $\lambda_i = -10^6$ .

Множество  $A^T$  представляется в виде последовательности кортежей

$$A^T = \{\langle a_1^T, x_1^T, \gamma_1, \alpha_1 \rangle, \dots, \langle a_i^T, x_i^T, \gamma_i, \alpha_i \rangle, \dots, \langle a_m^T, x_m^T, \gamma_m, \alpha_m \rangle\}, \quad (7)$$

где  $a_i^T$  – логическая переменная, соответствующая имени  $i$ -го параметра технического задания на МО;  $a_i^T = \langle \text{true} \rangle$ , если этот параметр присутствует в заказываемом МО;  $a_i^T = \langle \text{false} \rangle$  – в противном случае;  $x_i^T$  – чис-

ленное значение  $i$ -го параметра, больше или меньше которого не должен быть параметр выбираемого МО. Параметр  $\gamma_i$  конкретизирует понятия «больше», «меньше». При  $\gamma_i = -1$  должно выполняться условие  $x_i \leq x_i^T$ , то есть параметры заказываемого МО должны быть не больше  $x_i^T$ . При  $\gamma_i = 1$  параметры заказываемого МО должны быть не меньше  $x_i^T$ , то есть  $x_i \geq x_i^T$ .  $\gamma_i = 0$ , когда  $a_i^T = \langle \text{false} \rangle$ , где  $a_i$  – степень важности  $i$ -го параметра ( $a_i = -10^6, 0, 1, \dots, 5$ ).

Множество  $B^T$  представляется в виде последовательности кортежей

$$B^T = \{ \langle b_1^T, [y_1^T], \beta_1 \rangle, \dots, \langle b_i^T, [y_i^T], \beta_i \rangle, \dots, \langle b_f^T, [y_f^T], \beta_f \rangle \}. \quad (8)$$

где  $b_i^T$  – логическая переменная, соответствующая имени  $i$ -го параметра технического задания и принимает значения аналогично переменной  $a_i^T$ ;  $[y_i^T]$  – интервальная переменная, определяющая заданный интервал изменения  $i$ -го интервального параметра технического задания;  $\beta_i$  – степень важности  $i$ -го параметра ( $\beta_i = -10^6, 0, 1, \dots, 5$ ).

Сформируем критерий оптимального выбора МО [10], который будет иметь векторную форму и состоять из двух критериев  $I_1$  и  $I_2$ . Критерий  $I_1$  характеризует выполнение условий технического задания.

Критерий  $I_1$  определяется следующими соотношениями [2, 3]:

$$I_1 = I^L + I^A + I^B; \quad (9)$$

$$I^L = \sum_{i=1}^n \lambda_i \delta_i^L;$$

$$D_i^L = l_i^T \wedge l_i^k,$$

где  $\delta_i^L = 1$ , если  $D_i^L = \langle \text{true} \rangle$ ;  $\delta_i^L = 0$ , если  $D_i^L = \langle \text{false} \rangle$ ;

$$I^A = \sum_{i=1}^m a_i \delta_i^A; \quad (10)$$

$$D_i^A = (a_i^T \wedge a_i^k) \wedge [(x_i^k \leq x_i^T) \wedge (\gamma_i = -1)] \vee [(x_i^k \geq x_i^T) \wedge (\gamma_i = 1)],$$

где  $\delta_i^A = 1$ , если  $D_i^A = \langle \text{true} \rangle$ ;  $\delta_i^A = 0$ , если  $D_i^A = \langle \text{false} \rangle$ ;

$$I^B = \sum_{i=1}^f \beta_i \delta_i^B; \quad (11)$$

$$D_L^B = (b_i^T \wedge b_i^k) \wedge ([y_i^k] \subset [y_i^T]),$$

где  $\delta_i^B = 1$ , если  $D_i^B = \text{«true»}$ ;  $\delta_i^B = 0$ , если  $D_i^B = \text{«false»}$ .

Критерий  $I_2$  будет определять стоимость  $k$ -й модели МО, то есть

$$I_2 = c^k. \quad (12)$$

Таким образом, векторный критерий имеет вид

$$\bar{I}(k) = (I_1(k), I_2(k)). \quad (13)$$

Задача выбора оптимальной модели МО формулируется следующим образом [6, 12]. Для заданного технического задания, определяемого  $T = \{L^T, A^T, B^T\}$ , необходимо найти такую  $k$ -ю модель МО, при которой достигается оптимальное значение критерия  $\bar{I}$ , то есть

$$\bar{I}^*(k^*) = \underset{k=1, K}{\text{opt}} (I_1, I_2) \quad (14)$$

для всех МО  $k = \{L_k, A_k, B_k, c_k\}$ .

Для решения многокритериальной задачи используется принцип Парето. Словесная формулировка принципа Парето: эффективность решения не может быть улучшена по какому-либо критерию  $I_i$  без ухудшения другого критерия.

Для нашего случая: если  $k^*$  – Парето оптимально, то не существует других решений  $k'$  ( $k' = 1, K$ ), для которых

$$I_1(k') \geq I_1(k^*); \quad (15)$$

$$I_2(k') < I_2(k^*)$$

или

$$I_1(k') > I_1(k^*);$$

$$I_2(k') \leq I_2(k^*).$$

Неравенства формализуют принцип оптимальности Парето, то есть для оптимального решения – оптимальной  $k^*$ -й модели МО не существует другой  $k'$ -й модели МО, в которой при таких же функциональных возможностях, то есть  $I_1(k') = I_1(k^*)$  или лучших функциональных возможностях  $I_1(k') \geq I_1(k^*)$  была бы меньше цена  $I_2(k') < I_2(k^*)$ .

Принцип Парето можно сформулировать иначе: для оптимальной  $k^*$ -й модели МО не существует другой  $k'$ -й модели МО, которая при такой же цене  $I_2(k') = I_2(k^*)$  или меньшей цене  $I_2(k') \leq I_2(k^*)$  обладала бы лучшими функциональными возможностями  $I_1(k') > I_1(k^*)$ .

Результатом решения задачи многокритериальной оптимизации является не одно значение, а множество значений, которое называется областью Парето. Все оптимальные решения, образующие область Парето подчиняются принципу оптимальности по Парето: при переходе от одной точки области Парето к другой происходит улучшение одного критерия и ухудшения другого.

На рис. 1 представлен алгоритм решения задачи оптимального выбора моделей МО [13]. Вначале формулируется техническое задание (ТЗ),

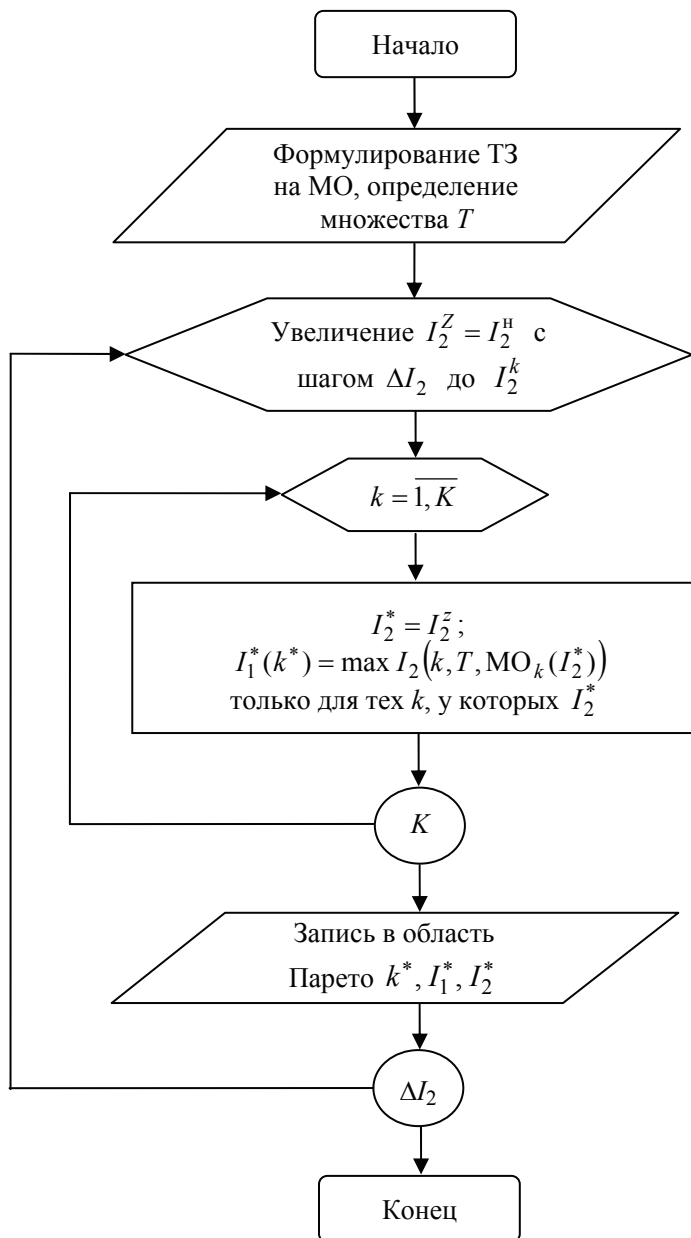


Рис. 1. Алгоритм решения задачи оптимального выбора МО

то есть определяется множество  $T$  (информационная модель технического задания) [12]. Далее задается критерий  $I_2^Z$  – цена МО. Выбираются только те  $k$ -е модели, стоимость которых равна  $I_2^Z$ . Среди них выбирается та  $k^*$ -я модель, при которой критерий  $I_1 = \max$ . Эта модель определяет точку области Парето. Далее выбирается новая бóльшая цена МО, которая увеличивается на  $\Delta I_2$ . Аналогично для нее определяется новая оптимальная по Парето модель. Построение области Парето заканчивается тогда, когда будет достигнута максимально возможная цена МО.

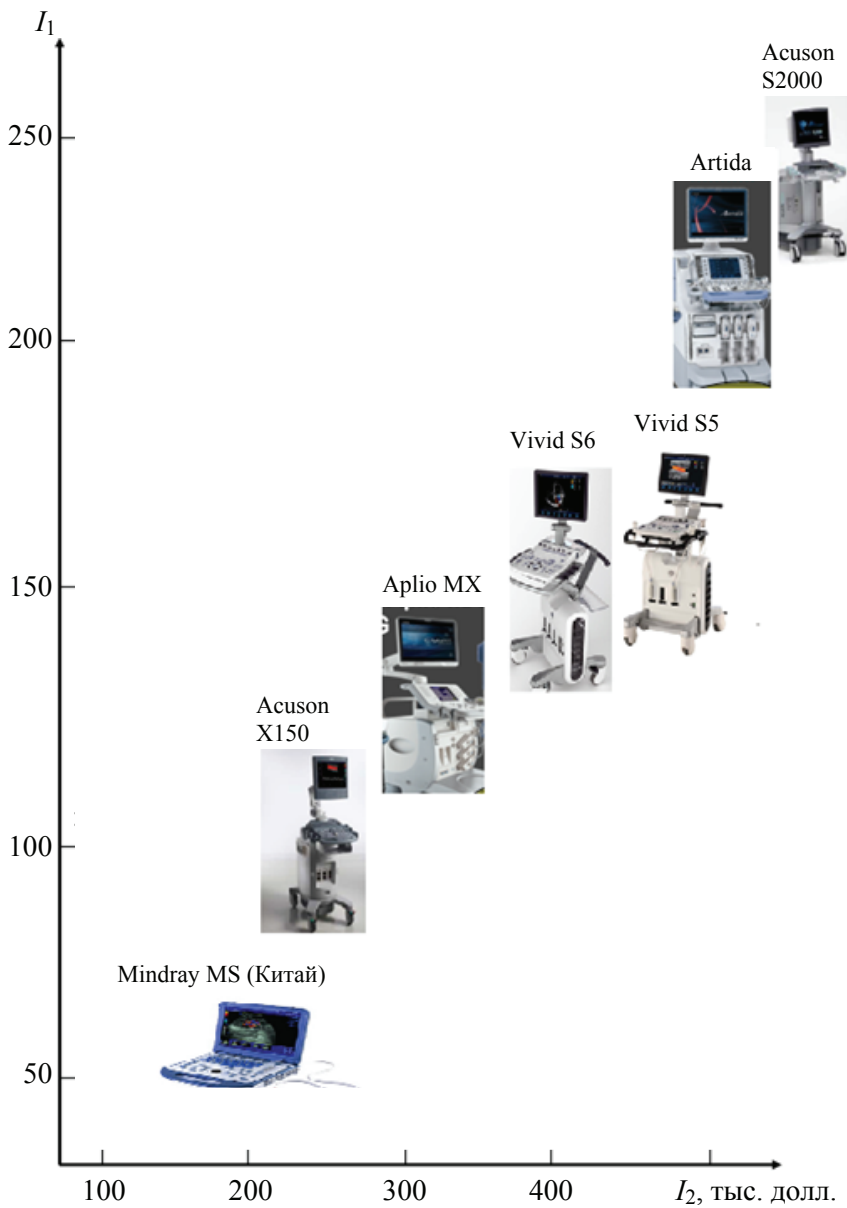


Рис. 2. Область Парето



В результате мы имеем набор моделей МО оптимальных по Парето. В повседневной жизни эта процедура называется выбором изделия в смысле «цена–качество». В зависимости от возможностей заказчик выбирает определенную модель МО и ориентируется на нее при составлении документации на торги или аукцион.

На основе представленного алгоритма (см. рис. 1) была решена задача (14), составлены информационные модели 40 аппаратов.

В результате решения задачи многокритериальной оптимизации была построена область Парето (рис. 2), представляющая собой множество аппаратов УЗИ (7 аппаратов), где с ростом цены на аппарат возрастают его функциональные возможности, согласно пожеланиям заказчика. Модели этих аппаратов принадлежат фирмам Mindray, Siemens, GE, Toshiba. При составлении документации на торги или аукцион заказчик должен ориентироваться на эти модели, так как они являются оптимальными в смысле «цена–качество».

#### *Список литературы*

1. Истомина, Т.В. Маркетинг медицинской техники : учеб. пособие / Т.В. Истомина, Г.Н. Пахарьков. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. академии, 2007. – 202 с.
2. Колдашев, А.М. Изучение математической логики : метод. рекомендации / А.М. Колдашев ; Тамб. гос. пед. ин-т. – Тамбов, 1986. – 65 с.
3. Колдашев, А.М. Элементы современной математики : учеб. пособие / А.М. Колдашев, Т.А. Фролова ; Тамб. гос. пед. ин-т. – Тамбов, 1991. – 82 с.
4. Концепция развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.zdravo2020.ru/concept/Kontceptciya\\_Zdravo2020.doc](http://www.zdravo2020.ru/concept/Kontceptciya_Zdravo2020.doc). – Загл. с экрана.
5. Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики : учеб. пособие для вузов / Ю.М. Коршунов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергия, 1980. – 424 с.
6. Ларичев, О.И. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития / О.И. Ларичев, А.В. Петровский // Итоги науки и техники. Сер. Техн. кибернетика. – 1987. – Т. 21. – С. 131–164.
7. Воронин, Ю.М. О состоянии медицинского оборудования и использовании средств федерального бюджета и внебюджетных источников, направляемых на его производство и закупку (Аналитический доклад) / Ю.М. Воронин // Бюл. Счет. палаты Рос. Федерации. – 2003. – № 5 (65). – С. 186–203.
8. Руководство по организации ремонта и технического обслуживания медицинской техники : РТМ 59498076-03–2003 : информ. бюл. «Медицина и техника» : в 2 ч. – СПб. : Медтехника, – 2003. – 2 ч.
9. Информатика : учебник / Б.В. Соболев [и др.]. – Изд. 3-е, дополн. и перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 446 с.

10. Фролова, М.С. Постановка задачи выбора оптимальной модели медицинского оборудования / М.С.Фролова // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы : материалы XXIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов / Ряз. гос. радиотехн. ун-т. – Рязань, 2010. – С. 329–332.

11. Фролова, М.С. Алгоритм выбора оптимальной модели медицинского аппарата / М.С. Фролова // Сборник магистрантов / Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов, 2010. – С. 202–203.

12. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 408 с.

13. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер – М. : Радио и связь, 1992. – 504 с.

---

### **On Selection of Optimal Model of Medical Equipment**

**M.S. Frolova**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** health care institution; information model; medical equipment; multicriteria optimization; Pareto's principle.

**Abstract:** The paper proposes the formulation and solution to the problem of choosing an optimal model of medical equipment (ME) on the basis of Pareto's principle, information models of ME and technical specifications for ME.

---

© М.С. Фролова, 2011